
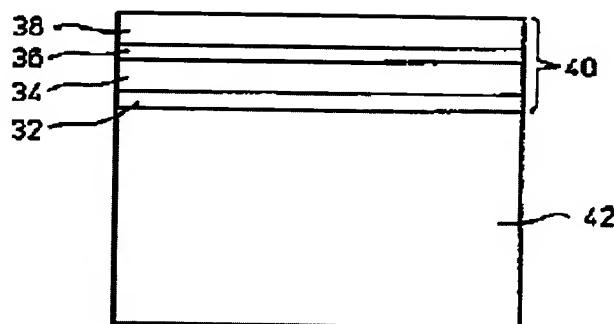


**MANUFACTURE OF LIGHT EMITTING DIODE****Publication number:** JP6302857**Publication date:** 1994-10-28**Inventor:** FURETSUDO EI KITSUSHIYU; FURANKU EMU  
SUTERANKA; DENISU SHII DEFUEBURE; BUAAJINIA  
EMU ROBINSU; JIYON UEBINGU**Applicant:** HEWLETT PACKARD CO**Classification:****- International:** H01L21/02; H01L21/20; H01L21/60; H01L33/00;  
H01L21/02; H01L33/00; (IPC1-7): H01L33/00**- european:** H01L33/00C4D3B; H01L33/00G; H01L33/00G3;  
H01L33/00G3D; H01L33/00G4B**Application number:** JP19940064528 19940308**Priority number(s):** US19930036532 19930319**Also published as:** EP0616376 (A1)  
US5376580 (A1)  
JP2004080042 (A)  
JP2004006986 (A)  
EP0616376 (B1)

more &gt;&gt;

**Report a data error here****Abstract of JP6302857**

**PURPOSE:** To provide a method of manufacturing a light emitting diode which has desired mechanical characteristics and transmittivity and is capable of minimizing the resistivity at the interface between a transparent layer and growth layer. **CONSTITUTION:** Light emitting diode layers 32, 34, 36, 38 are grown on a temporarily grown substrate to form a comparatively thin layer type light emitting diode structure 40, this substrate is removed and conductive and light-permeable substrate 42 is wafer-bonded to the diode layer 32 to be a lower buffer layer, instead of the temporarily grown substrate, thereby manufacturing a light emitting diode.



---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



特開平6-302857

(43) 公開日 平成6年(1994)10月28日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00	A	7376-4M		
	N	7376-4M		

審査請求 未請求 発明の数 1 F D (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平6-64528

(22) 出願日 平成6年(1994)3月8日

(31) 優先権主張番号 0 3 6, 5 3 2

(32) 優先日 1993年3月19日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590000400

ヒューレット・パカード・カンパニー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト ハノーバー・ストリート 3000

(72) 発明者 フレッド・エイ・キッシュ

アメリカ合衆国カリフォルニア州サンノゼ  
レイク・ショアー・サークル 1372

(72) 発明者 フランク・エム・ステランカ

アメリカ合衆国カリフォルニア州サンノゼ  
オーグラディー・ドライブ 7086

(74) 代理人 弁理士 遠藤 恭

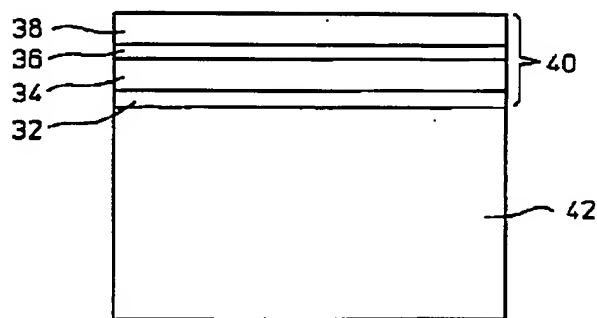
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光ダイオードの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 所望の機械的特性と透光性を有する発光ダイオードを製造することができ、かつ透明層と成長層との境界面の抵抗率を最小限にすることができる発光ダイオードの製造方法を提供することを目的とする。

【構成】 一時的成長基板上に発光ダイオード層 3 2, 3 4, 3 6, 3 8 を順次成長させ、比較的薄い層の発光ダイオード構造 4 0 を形成後、一時的成長基板を除去し、一時的成長基板に代えてその位置に下層の緩衝層となる発光ダイオード層 3 2 に導電性、透光性基板 4 2 をウェーハ接合して発光ダイオードを製造する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所望の機械特性を有する発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)の製造と適応性がある特性を有する第1材料を選択し; 選択された第1材料から成る第1基板(30)を設け; 第1基板上に発光ダイオード層を製造することによって発光ダイオード基板(40)を形成し; 発光ダイオード構造の性能の向上に適する透光性材料を選択し; および選択された透光性材料の透明層(42)を発光ダイオード層にウェーハ・ボンディングする; 工程とからなる発光ダイオードの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、一般に発光ダイオードに関し、特に発光ダイオードの製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 発光ダイオード(以下、LEDという)は広範な用途に利用されている。例えば、光データ伝送では、LEDは光ファイバ・ケーブルに沿ってデータ信号を送送するために利用されている。

【0003】 レーザーとは異なり、LEDは良好に集束された光ビームを生成しない。対照的にLEDは全方向に光線を放射する。すなわち、発光は等方性である。多くの従来形のLEDの層はLEDの能動領域の放射エネルギーよりもエネルギー・ギャップが少ない光吸収性の基板上で成長される。基板は能動領域内で生成された光線の一部を吸収するので、素子の効率が低下する。従来の単一異質結合形の砒化アルミニウム・ガリウム(以下、AlGaAsという)LEDを図20に示してある。pドーピングされたAlGaAsのエピタキシャル層10と、nドーピングされたAlGaAsのエピタキシャル層12とがpドーピングされた砒化ガリウム(以下、GaAsという)吸収性基板14の表面上で成長される。エピタキシャル層10と12の接合部を通る電流の導通によって光線が生成される。しかし、吸収性基板14のエネルギー・ギャップが放射エネルギーよりも小さいので、吸収性基板14の方向に下方に放射され、又は内部反射される光線は吸収される。

【0004】 図21は吸収性の基板16上に二重異質接合形のAlGaAs LEDである。nドーピングされたAlGaAsのエピタキシャル層18と、nドーピングされたAlGaAsの層20及び22とが吸収性の基板16上で成長される。エピタキシャル層18-22のバンド・ギャップは能動層となるエピタキシャル層20内で光線が生成され、且つ吸収されることなくエピタキシャル層18及び22を通過して進行するように選択される。しかし、光線の吸収は吸収性基板16では生じない。

【0005】 LEDの能動領域の放射エネルギーよりも大きいエネルギー・ギャップを有する透明な基板を使用する

ことによって性能の向上を達成できる。透光性基板の効果は下方に放射される、又は下方に向かう光線の吸収を防止することにある。光線は吸収されずに、透光性基板を透過し、底部の金属粘着物及び反射性キャップから反射される。反射光線はその後、チップの頂部又はエッジから放射され、その結果、LEDの効率が大幅に高まる。

【0006】 透光性基板を有するLEDには幾つかの製造技術がある。第1の技術は透光性基板上でP-n接合をエピタキシャル成長させることである。しかし、この技術の問題点はLEDエピタキシャル層の格子定数によっては許容できる格子整合の達成が困難である点である。第2の技術は後に除去される吸収性基板上でLEDエピタキシャル層を成長させることである。例えば、図3ではnドーピングされた透光性基板24と、pドーピングされたエピタキシャル層26及び28を吸収性基板(図示せず)上でエピタキシャル成長させることができる。透光性「基板」24は格子整合性の吸収性の基板上で75 $\mu$ m以上の厚い、透光性且つ導電性のエピタキシャル層を成長させることによって製造される。次に別の層であるエピタキシャル層26と28がエピタキシャルの透光性「基板」24上で成長され、吸収性基板は除去される。あるいは、より厚い透光性「基板」24よりも先により薄いエピタキシャル層26及び28を成長させてもよい。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 透光性基板を有するLEDの上記の製造技術には生来の欠点がある。第1に、「厚い」、透光性且つ導電性「基板」をエピタキシャル成長させることは、一定の半導体材料用にある種の成長技術を利用する場合、実際的ではないか、又は不可能でさえある。第2に、それが可能な場合でも、「厚い」エピタキシャル層は長い成長時間を要し、このようなLEDの製造量が限定される。第3に、吸収性基板を除去した後に生ずるLED層は例えば約3-6ミルと比較的薄い。薄いウェーハは破損せずに取り扱うことが難しく、製造が一層困難になる。更に、ウェーハが薄いことによって、ウェーハをLEDパッケージ内に装着する際に困難が生ずる。ウェーハを実装し、素子の底部に接触させるために代表的には銀を装填したエポキシが使用される。エポキシは薄いウェーハのエッジを越えて流出することがあり、それによってダイオード(LED)が短絡する原因になる。更に、薄いウェーハは少なくとも10ミルの「厚い」基板上で成長される図20及び図21の装置ほどには機械的に頑強ではない。このような「薄い」LEDはエポキシ・ランプに装着する際に装置が故障する確率が大きくなる。このように、この第2の技術を採用した場合は透明層は実際の結晶成長プロセスのためには「厚すぎ」、装置の利用に介しては「薄すぎる」ので、矛盾する厚さの問題がある。

【0008】その結果、吸収性基板と、透光性基板の選択に関しては妥協が介在する。成長技術及び製造技術によって、吸収性基板を有するLEDは透光性基板のLEDよりも優れた機械特性を備えることができるが、吸収性基板は一般に効率が悪い。透光性基板を使用すれば効率を高めることができる。しかし、エピタキシャル層が異なる格子定数を有する透光性基板上で成長される場合は、格子の不整合によって困難が生ずることがある。更に、「厚い」透光性「基板」がエピタキシャル成長される場合は矛盾する厚さの問題に遭遇することがある。

【0009】吸収性層又は透光性層の影響は標準型のエピタキシャル層と吸収性層との間にブラッグ・リフレクタ(Brag reflector)層を成長させることによって最小限に抑制できる。ブラッグ・リフレクタは吸収性層の方向に放射又は内部反射された光線を反射するので、効率の向上は達成される。しかし、ブラッグ・リフレクタは直角に近い入射光線だけを反射するので、向上は透光性基板を使用した技術と比較して限定される。大きく直角とは異なる入射光線は反射せず、基板へと通過し、そこで吸収される。更に、ブラッグ・リフレクタを有するLEDは、代表的には厚さが100オングストロームの多くの薄いエピタキシャル層を繰り返して成長させることが必要であるので、製造が一層困難である。

【0010】本発明の目的は少なくとも8ミルの「厚い」基板の所望の機械的特性と、透光性基板のLEDの光学特性とを有するLEDの形成方法を提案することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的は、LED層の成長のために最適な一時的成長基板を使用するが、この基板のエピタキシャル成長を必要とせずに性能が向上された基板が得られる方法によって達成された。好適な実施例では、性能向上基板はウェーハ・ボンディング技術を使用してLED層に接合される透明部材である。透明層はLED層のエピタキシャル成長が終了するまではLED層に接合されないもので、透光性基板とエピタキシャル層との格子整合は問題ではない。

【0012】一時的成長基板は所望の機械特性を有するLED層の製造と適応性がある材料から成っている。例えば、高品質の結晶成長を達成し、格子の整合性を最適化するために、標準型の吸収性基板材料を使用できる。次に液相エピタキシ、気相エピタキシ、金属有機化学蒸着及び／又は分子ビーム・エピタキシを含む一つ、又は複数の多様な方法を利用してLED層が成長される。LED構造を生成するLED層は発光能動層と、上下の密封層と、電流拡散及び光線放出層と、単数又は複数の緩衝層とから成るものでよいが、これに限定されるものではない。

【0013】LED構造の成長に続いて、吸収性の一時的成長基板は高品質のエピタキシャル層を形成できると

いう目的を完了する。成長基板は除去することが好ましいが、それは吸収性成長基板はLED構造の放射エネルギーより小さいが、それと等しいエネルギー・ギャップを有しているからである。エネルギー・ギャップと装置の放射エネルギーとのような関係は装置の効率を著しく限定する。一時的成長基板を除去する方法は限定的なものではなく、別な方法には化学エッチング、ラップ研磨／研磨、反応性イオン・エッチング及びイオン摩砕が含まれる。成長基板の除去には更に、吸収性の基板と接触する層の一部又は全部を除去することも含まれる。

【0014】次に第2基板がLED構造にウェーハ・ボンディングされる。好適な実施例では、第2のウェーハが導電性であり、透光性である。吸収性基板と対照的に、透光性基板は性能向上層である。ウェーハ・ボンディングはLED構造の最上又は最下層で行うことができる。従来は、LED装置は素子のp-n接合に適宜にバイアスを加えるために対向端に電極を備えているので、透光性基板と成長層との境界面の抵抗率を最小限にすることが重要である。所望の抵抗特性の達成を促進するためにインジウムを含む成分を使用することが提案されている。In含有成分の他に、表面移動度が高く、拡散性が高く、及び／又は物質移動特性が優れたその他の成分(例えばHg含有、Cd含有およびZn含有成分)を固体ウェーハ・ボンディングの用途で使用すれば有利である。

【0015】

【作用】前述の方法を採用する際の関心事の一つは、一時的成長基板の除去の後には、残りのLED構造が例えば10μm未満と極度に薄く、従って壊れやすく、処理し難いことである。第2の実施例では、一時的成長基板は第2の基板をLED構造の最上層に取り付けた後で初めて除去される。第2基板をエピタキシャル成長させるのではなくウェーハ・ボンディングすることによって例えば8ミル又はそれ以上の厚い基板を取り付けることが可能になる。この第2基板は透明なものでよく、光学的な放出及び電流拡散のための性能向上層として役立ち、及び／又は成長基板を除去し、成長基板がそこから除去されるLED構造の側面で透光性基板の第2のウェーハ・ボンディングを実行する工程の間、機械的な安定性を向上させるための手段としてだけ役立つ。機械的な安定性だけが必要である場合は、この第2の基板を第2のウェーハ・ボンディング工程を実施した後に引き続いて除去してもよい。

【0016】ウェーハ・ボンディング技術を採用する最も明らかな用途は光吸収性基板が除去され、透光性基板と置き換えられる用途であるが、これに限定されるものではない。一時的成長基板は電流拡散能力を制限する導電性が低い透光性の基板でよい。このような基板は究極的にはLEDの効率を制限するであろう。そこで、導電性がより高い透光性の基板と置き換えるために透明な一

時的成長基板を除去することによって、装置の性能を高めることができよう。同様にして、導電性が低い一つの吸収性層を導電性がより高い吸収性層と置き換えることができる。

【0017】前述の方法はウェーハ接合層を有する発光半導体装置を形成するものである。「ウェーハ接合層」とはここではウェーハ・ボンディングを行った層の特徴とする特性を示す層もしくは基板であると定義される。このような特徴の一つはエピタキシャル成長された不整合の異質境界面と比較して、ウェーハ・ボンディングされた境界面で形成される適合しない転位の性質が異なるものと考えられる。ウェーハ・ボンディングがなされた境界面は主として「エッジの転位(edge dislocation)」、すなわちそのバーガース・ベクトルがウェーハ・ボンディングされた境界面にある転位からなる不整合転移を呈するものと認められている。これらの特性は代表的にはより高い「拡散転位(threading dislocation)」、すなわち不整合の境界面に限定されず、境界面に対して垂直に伝播しようとする転位を呈するエピタキシャル成長された不整合境界面とは対照的である。

【0018】本発明の別の実施例では、層は後になって除去される必要がない第1の成長基板上でエピタキシャル成長される。A1含有のIII-V半導体の多くは湿気のある環境では不安定であり、加水分解によって劣化する。このような劣化によって、厚さが相当なA1含有III-Vエピタキシャル層を含むLEDに信頼性に関する問題点が生ずることがある。例えば、図22に示したようなAlGaAsのLEDは湿気のある高温下での信頼度検査中にA1含有率が高い層の酸化の結果として劣化する。この劣化はウェーハ・ボンディングを採用することによって軽減する可能性がある。例えば、A1含有率が高いが多い層(エピタキシャル層28)の大部分をA1含有率が低い、厚い透光性、導電性のウェーハ接合層と置き換えることができる。同様にして、GaPのウェーハ接合層を透明基板24の大部分と置き換えることができる。すなわち、不活性化を達成するためにウェーハ・ボンディング技術を利用することができる。

【0019】別の実施例では、LED構造を形成するLED層に導電性ミラーをウェーハ接合することができる。次にミラーの方向に放射された光線がLED構造に反射して、装置の効率が高められる。この実施例では、ミラーは吸収性の基板でも透光性基板でもよい基板によって支持される。何故ならば、光線は基板自体には到達しないからである。

【0020】ウェーハ・ボンディングは更に、いかなる光学的利点をも無視して機械的安定性及び/又は熱安定性を高めるために利用できる。例えば、安定性を高めるために頑丈なIII-V半導体ウェーハ又はSiCウェーハをII-VI LED構造に接合することができる。

【0021】更に別の実施例では、ウェーハ接合される

少なくとも一つのウェーハ表面が、ウェーハの電氣的及び/又は光学的特性が選択的に変化するようにパターン形成される。例えば、LEDの能動領域に所望の電流経路を形成するためにウェーハ・ボンディングに先立って選択された領域に窪みを形成してもよい。応用例の可能性としてはLEDに電圧を印加し、スポット・エミッタの製造を簡単にするために金属化された電極に向ける光線を低減することが含まれるが、これに限定されるものではない。パターン形成は更にウェーハ表面に沿った光学特性を変化させて、光線を所望の態様で再配向させることに利用できる。

【0022】前述のように、ウェーハ接合境界面は電気抵抗率が低く、機械的強度が高いことが好ましい。所望の抵抗特性と構造上の完全性を達成する上でファン・デル・ワースの力(van der waals' forces)は一般には有効ではないことも判明している。圧力と高温処理の組み合わせが所望のオーム及び機械的特性をより確実に達成するということが判明した。更に、高温下で圧力を加えることによって、ウェーハが互いに適合し、特に比較的厚い層を接合する際にウェーハ表面の不平滑性に起因する何らかの問題点を最小限に抑えることができる。

【0023】本発明の利点はこの方法によって製造されるLEDの性能が増強されることにある。光線放出及び電流拡散の双方が向上する。別の利点は、ウェーハ・ボンディングは基板のエピタキシャル成長による制約を受けないので、8ミル又はそれ以上の厚い基板をコスト効率よく形成できることにある。基板が厚いことによって取扱及び素子への装着特性が向上する。

【0024】

【実施例】図1を参照すると、本発明を実施する第1の工程は、複数のLED層をその上で順次成長させる第1基板として成長基板30を選択することである。好適な実施例では、成長基板30はLED層の製造後に除去される一時的成長基板である。この実施例では、成長基板の電氣的、光学的特性は製造されるLEDの動作には関係ないので、成長基板はLED層の成長に影響する特性に関してだけ選択することができる。例えば、格子整合は一般に成長基板を選択する上で配慮される重要な側面である。しかし、実施例によっては成長基板は残されるので、その実施例では成長の適応性以外の特性が重要になる。

【0025】一時的成長基板30の例は厚さが250ないし500 $\mu$ mの範囲内のGaAs基板である。次に四つのLED層32, 34, 36及び38が成長基板30上で成長される。LED層32-38は液相エピタキシ、気相エピタキシ、金属有機化学蒸着及び分子ビーム・エピタキシを含む多様な公知の方法の何れかを利用して成長させることができる。LED層32-38は二重異質接合LEDを形成するが、本発明はどの種類のLED装置にも利用できる。

【0026】成長基板30の真上のLED層32はnドーピングされた緩衝層であるが、成長基板(30)と結合された第2側面ともなる。緩衝層の上方ではnドーピングされた下部のAlGaInP密封層が成長される。下部の密封層のLED層34の厚さは例えば800ナノメートルである。

【0027】AlGaInPの能動層となるLED層36は厚さが例えば500ナノメートルまで成長される。次にpドーピングされたAlGaInPの上部密封層となるとともに、第1側面ともなるLED層38の模範的な厚さが例えば800ナノメートルである。電流の拡散を促進することによって、LED構造の性能を向上するために、透明で、LED層34、36及び38よりも導電性が高いウインドウ層をオプションとして上部密封層となるLED層38の上で成長させてもよい。このようなウインドウ層はフレッチャー(Fletcher)他の米国特許明細書第5,008,718号に記載されている。

【0028】LED層32-38内ではある程度の光吸収性及び電気抵抗率の誤差が許容される。それはこれらの層が十分に薄く、最適な特性を達成するために素子の性能を著しく妥協しなくてもよいからである。しかし、光吸収性の一時的成長基板30は明確に性能に影響を及ぼす。さて、図2を参照すると、成長基板は既に除去され、成長層であるLED層32-38によって形成されたLED構造が残されている。成長基板の除去は、化学エッチング、ラップ研磨/研磨、反応性イオン・エッチング及びイオン摩砕を含むそれらの組み合わせの方法で達成できる。後に詳述するように、成長基板を除去する方法は除去した後で清浄で平坦な表面が現れる限りは限定的なものではない。成長基板に加えて、緩衝層であるLED層32の全部、又は一部を除去し、下部の密封層であるLED層34の一部を除去することができる。

【0029】一時成長基板を除去した後、性能向上基板が図2に示したLED構造40の最下層のLED層32又は最上層のLED層38の何れかに接合される。接合されるべきウェーハの位置はLED構造40、及び成長層32-38及び/又は接合される基板の電氣的及び光学的特性に左右される。ウェーハ・ボンディング技術が採用される。ウェーハ・ボンディングによってLEDに性能増強基板を付与する別の方法と比較して多くの利点

【0030】図3は透明層として使用され、また永久基板でもある導電性、透光性基板42が緩衝層であるLED層32にウェーハ接合された実施例を示している。ウェーハ・ボンディングには透光性基板を成長させる必要なくともこれを得られるという利点をもたらす。好ましくはウェーハ接合された導電性、透光性基板42は8ミルを超える厚さを有している。従来の技術を使用してこれに匹敵する厚さを有する基板を成長させることは困難であるか、不可能であり、可能であるにしても極めて長

時間を要するであろう。LED構造40の比較的薄い層であるLED層32-38だけを成長させればよいので、エピタキシャル成長に要する時間を劇的に短縮でき、それによって処理量を最大限にすることができる。更に、ウェーハ・ボンディング工程によってエピタキシャル成長される透光性基板と比較して機械的特性が増強された厚い装置が得られる。その結果産出されるLED装置は取扱いが一層容易になり、破損しにくくなるので、製造がより簡単になり、装置の産出量が増大する。ウェーハ・ボンディングは更に装置の底部からp-n接合部を変位するために利用してもよく、それによって従来のように装置を導電性銀含有エポキシに実装する際に装置が短絡回路とする可能性が軽減される。

【0031】さて図4を参照すると、製造工程の残りには標準型のLED技術が含まれる。電極44が例えば蒸着によって上部密封層であるLED層38上に形成される。電極を形成する代表的な材料は金-亜鉛合金である。第2電極46は導電性、透光性基板42上に形成される。この場合も蒸着が用いられるが、それに限定されるものではない。代表的な材料は金-ゲルマニウム合金である。

【0032】場合によってはウェーハ・ボンディングと適応化するために上記の工程を修正することが望ましいか、又は必要でさえあることがある。例えば、図5では、SiC基板の永久基板でもある第2基板48が図1の構造にウェーハ接合されている。すなわち、第2基板は一時的成長基板30を除去する前にウェーハ接合される。第2基板48は6ミルを超える「厚い」層であることが好ましい。成長基板30を除去する前にウェーハ接合することによって、エピタキシャル層のLED層32-38が基板によって支持されない時間がなくなるので、装置の機械的な安定性は大幅に向上するであろう。別の選択として、ウェーハ・ボンディングの前に緩衝層を第2基板48上にエピタキシャル成長させてもよい。このようなエピタキシャル緩衝層は緩衝層であるLED層32の底部で成長基板30と置き換えられる層と共に使用してもよい。

【0033】別の実施例では、図1の装置は透光性、又は吸収性の成長基板30上で成長されるLED層32-38を有する従来形の構造のものでよい。その場合は図5のウェーハ接合層による第2基板48は、フレッチャー(Fletcher)他の米国特許明細書第5,008,718号を参照して前述した電流拡散ウインドウ層のような厚い、導電性、透光性の層となろう。更に、最上層の第2基板48を接合した後、光線放出及び/又は電流拡散特性を向上させる理由から、元の成長基板30を除去し、別の性能向上基板を残りの構造の底部にウェーハ接合することも可能である。

【0034】更に、図1の素子は導電率が低く、装置の電流拡散力が限定される従来形の透光性層の成長基板3



0を有しているものでもよい。この場合は、導電率がより高い透光性基板をウェーハ接合することが望ましい。導電率が高まると、装置の性能が向上しよう。置き換えの透光性基板が導電率の低い露出したLED層にウェーハ接合される。導電率がより高い置き換えの透光性基板を、導電率が低い透光性層の除去の前又は後にLED構造にウェーハ接合することができよう。

【0035】同様に、吸収性の一時的成長基板を導電率がより高い吸収性基板と置き換えてもよい。吸収性層を取り付けるためにウェーハ・ボンディングを利用することは好適な本実施例ではないが、このようなウェーハ・ボンディングでもLED素子の性能を同様に向上させるであろう。

【0036】さて図6を参照すると、ウェーハ・ボンディングは図1又は図3の何れかの構造を不活性化するためにも利用できる。多くのAl含有III-V半導体は、このような半導体が加水分解により劣化し易いので、湿気のある雰囲気では不安定である。このような劣化によって相当の厚さのAl含有III-Vエピタキシャル層のLED層30-38を含むLEDに信頼性の点で問題が生ずることがある。例えば、劣化は湿気がある高温下で使用中にAl含有率が高い上部の密封層であるLED層38の酸化に起因する場合がある。Al含有層の大部分をAl成分の含有率が低い厚い、透光性、導電性のウェーハ・ボンディング層と置き換えれば、劣化は防止できる。例えば、ウェーハ・ボンディング層50はGaPでよい。

【0037】図3を再び参照すると、導電性、透光性基板42とLED構造40との間の所望の電氣的接続は金属化の実施によって保証することができる。例えば、ウェーハ接合される導電性、透光性基板42の上面に薄い接点領域を形成することができる。対応する接点領域をLED構造の最下層のLED層32に形成することができる。厚さが1000オングストローム未満の接点为好ましい。適正な電氣的接点を確保するためには接点のパターンは充分に大きいことが必要であるものの、接点が占める総面積は、LED構造と導電性、透光性基板42との境界面が透光性基板への、又、透光性基板からの光線の透過を可能にするのに充分小さいことが必要である。接点は合金でも、非合金でもよい。そこで基板の表面が最下層のLED層32の表面と接触され、装置は温度を上昇して熱処理される。熱処理によって金属化されない領域でのウェーハ・ボンディングが達成され、金属化された接点での接合がなされる。

【0038】半導体-ガラス接合において、半導体-半導体接合と比較して優れた接合強度が認められた。半導体-半導体接合と比較して同様のことが、半導体-SiO<sub>2</sub>接合の場合にも認められる。このように、機械的な完全性の観点から、半導体-ガラス-半導体の挟装層、又は半導体-SiO<sub>2</sub>-半導体の挟装層を製造すること

によって透光性基板のLEDを形成することが望ましいだろう。図7を参照すると、ガラス又はSiO<sub>2</sub>、又はその他の酸化物の層52を導電性、透光性基板54上に形成することができる。次に層52がパターン形成されて、直前に述べた実施例の場合のように接点金属化領域56が付与される。あるいは、又はそれに加えて、LED構造40の最下層のLED層32上に酸化物及び/又は接点金属化領域58にパターン形成してもよい。この場合も、接点は良好な電氣的接触用に充分な面積を付与し、同時に境界面を依然として大幅に透光性にするようにパターン形成される必要がある。次に層52の表面が緩衝層であるLED層32の表面と接触され、処理によって層の間のウェーハ接合が形成される。熱処理によって材料相互間の接合強度が増強される。

【0039】さて図8を参照すると、前述のLED構造40はミラー60にウェーハ接合することができる。ミラー60はそこで下方に放射された光線、又は先に反射された内部光線を反射する。反射によって装置の光線出力が高められる。ミラー60は基板62によって好適に支持される。光線は基板に到達する前に反射されるので、基板の光学特性は関係がない。

【0040】ミラー60と基板62はLED構造40にバイアスを加えるために電極を基板に接合できるように、導電性材料から成る必要がある。更にミラーはエピタキシャル成長又は溶着されたブラッグ・リフレクタから成っているものでもよいことに留意されたい。基板62を形成するためにシリコン、GaAs又は同様の各種の材料を使用できる。装置が高温下で、又は高電流下で動作される場合、これらの材料の幾つか、例えばSiは熱伝導率が比較的高いので、これらの材料によって装置を更に向上させることができる。

【0041】ウェーハ・ボンディング工程を利用して積層LED装置を形成することもできる。このような素子は図9に示されている。境界面が装置を通して高い導電率が保持されるような境界面である場合は、複数のLED構造40と64とを互いに接合でき、且つ(又は)別の層と接合できる。上部のLED構造40のLED層34と38のドーピングの形式は下部のLED構造64の層70及び66のそれぞれのドーピングの形式と対応する。従って、二つのLED構造40と64とは同じ極性で配置されている。更に、ウェーハ接合される表面は極めて重くドーピングされるように準備される必要がある。このようにして、構造が互いに接合される際に、LED構造と逆の極性を有する重くドーピングされたトンネル接合部72が形成される。あるいは、トンネル接合部は、この接合部の露出表面にウェーハ・ボンディングを行いつつ、LED構造の一部としてエピタキシャル成長させてもよい。

【0042】図9の装置は個々のLED構造40及び64が順方向にバイアスされるように、上部電極74に電

10

20

30

40

50



圧を印加し、下部電極76に電圧を印加することによって動作される。下部電極は導電性、透光性基板78上のパターン化された金属化層である。積層装置の順方向バイアスは重くドーピングされたトンネル接合部72に逆バイアスを加え、それによってトンネル接合部を導電性にする。このようにして、光線出力と効率を高めるために任意の数のLEDを互いに積層することができる。LED構造40及び64の積層から成るLED装置は、それが互いに積層されていない場合の個々のLED構造の電圧の総計で動作する。能動層であるLED層36と能動層68とが同じ放射エネルギーを有することは決定的に重要ではない。しかし、導電性、透光性基板78は個々のLED構造の放出エネルギーよりも大きいエネルギー・ギャップを有していることが好ましい。導電性の形式の全てが反転された場合も積層を形成できることに留意されたい。

【0043】LEDの形成に際して任意の数の基板をウェーハ接合することができる。好適な実施例では、ウェーハ結合層は厚さが1ミルを超える半導体である。許容できる材料にはSi, Ge, AlP, AlSb, GaN, AlN, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb, ZnS, ZnSe, CdSe, CdTe, SiC, 又は上記の合金の任意の組合せが含まれる。ウェーハ接合基板は市販のものでもよく、又は、市販の基板にエピタキシャル成長層を付加したものでもよい。エピタキシャル成長層を付加する理由は例えば基板の接合強度を高めたり、ウェーハ接合の境界面の導電率を高めるためである。ウェーハ接合基板は単独で、一時的成長基板から除去された前述の材料の厚い、すなわち1ミル以上のエピタキシャル層であることもできる。更に、ウェーハ接合層は一時的成長基板上に形成された、例えば2 $\mu$ mのより薄いエピタキシャル層であってもよい。その後、このような層がウェーハ接合され、引き続いてこの成長基板が除去される。

【0044】図10はパターン形成された第1の層としての半導体ウェーハ126が、上部の密封層130と、能動層132と、下部の密封層134とから成るLED構造128にウェーハ接合される実施例を示している。LED構造は基板136上で成長させるか、又は、基板136にウェーハ接合されることができる。パターン形成された半導体ウェーハ126は図5を参照して説明したような電流拡散ウィンドウでよいが、これに限定されるものではない。パターン形成された半導体ウェーハ126は第1の表面としての下部表面138が窪み140を形成するためにエッチングされる。窪みを設けることによってパターン形成された半導体ウェーハがLED構造と接合される際に電気的特性と光学的特性の双方が変化する。

【0045】図11では、パターン形成された半導体ウェーハ126がLED構造128の上部の密封層130

にウェーハ接合されている。次に電極142及び144Aがパターン形成された半導体ウェーハ126の上部表面と基板136の下部表面上に形成される。パターン化されたウェーハ内の窪み140は空洞もしくは空隙を形成する。電極142に電圧を印加することによってLED構造128に電流が導通するが、図11の電流の流れの矢印が示すように、空洞の真下の領域には電流は流れない。

【0046】電極の領域は一般に吸収性の領域である。その結果、図11に示したような限定された電流の流れによってLED装置の効率が向上し、電流導通経路を選択する複雑ではない方法が得られる。

【0047】ディスプレイ及びスポット・エミッタのようなその他のLED装置も限定された電流の流れによって利点を得られる。図12は基板146上にLED構造144を備えたスポット・エミッタ142を示している。窪み148と150はウェーハ・ボンディング層152内に形成されている。LED構造とウェーハ・ボンディング層との境界面の空洞は、電極154及び156から境界面への電流の流れを限定する機能を果たす。窪みが境界面での電気的接触領域を限定するので、限定された電流導通経路によって窪み148と150との間に電流注入領域が得られる。スポット・エミッタ142を光ファイバ素子に結合するような用例では、中央領域での電流の流通と光線出力が望ましい。好適な実施例では、窪み148と150は単一の環状空洞の異なる部分であり、この空洞内では内径が中央の電流注入領域を形成する。

【0048】ウェーハ接合される半導体ウェーハのパターン形成は、LED層から放射された光線を戦略的に再配向することにも有利に利用できる。光線の再配向は装置の幾何的形狀や、用途や取付け方法によって異なる。その一例が図13に示されている。LED層156Aは上層158と下層160との間に挟装されている。外部層162と164は反対側でウェーハ接合される。電流が非接合領域に拡散できるように、非接合領域166, 168及び170は電極172から十分に離れた部位に形成される。しかし、そうしなければ電極によって吸収されてしまう光線を再配向するために、空洞は電極には十分に近くにある。このようにして光線放出の向上を実現可能である。

【0049】電極172からLED層156Aへの電流の導通は非接合領域166, 168及び170によってほとんど影響されないが、LED層からの光線に影響される。光線の再配向は非接合領域166, 168, 170と隣接する層との屈折率の差の結果として生ずるものである。周囲の半導体の屈折率は約3でよく、一方空洞内の屈折率は約1である。非接合領域での正確な屈折率は半導体ウェーハの接合方法によって左右される。代表的には、接合はH<sub>2</sub>又はPH<sub>3</sub>のような気体環境で行わ

れる。従って、空洞には気体が充填されることになる。このような気体は標準気圧及び温度では極めて1に近い屈折率を有している。半導体の屈折率は最適には光線が空洞内で閉込められないように空洞の屈折率よりも大きい、これは厳密なものではない。

【0050】LED用にパターン形成された半導体ウェーハの接合を行う別の方法は、LED層にパターン形成された、又はされない基板に接合する前にLED層の一つにパターン形成する方法である。図14では、パターン形成されたLED層174は窪み176を設けている。パターン形成されたLED層174は当初からエピタキシャル成長されたものでもよく、又は基板180下に位置するLED層178にウェーハ接合されたものでもよい。窪み176の形成に引き続いて、第2基板182がパターン形成されたLED層の上表面にウェーハ接合される。あるいは、LED層174及び又は第2基板182にパターン形成してもよい。更に、少なくとも一方にパターン形成された二つの層を別個にウェーハ接合し、次に二つの層をLEDエピタキシャル層にウェーハ接合することも可能である。

【0051】再度図10を参照すると、窪み140は標準のエッチング技術を利用して半導体ウェーハ126に形成できる。接合されるウェーハの表面にパターン形成するために、技術上周知の別の方法も利用できる。単なる例示として挙げると、別の方法には逆バイアスされた埋設p-n接合部を形成するための選択的拡散又はイオン注入や、選択的なパターンで絶縁酸化層を成長又は蒸着する方法や、利用できる種々の方法の任意の組合せ等が含まれる。酸化層に関しては、殆どの酸化物の屈折率は約1.6であり、これはエッチングとウェーハ・ボンディングによって形成される前述の空洞と同様に光線を再配向するに充分な屈折率である。

【0052】パターン形成されたウェーハ・ボンディングの試験がn-GaP基板を使用して行われた。パターン化されたn-GaP基板が後述する技術を用いてパターン形成されないn-GaP基板に結合された。パターン形成された基板は直径が約175 $\mu$ mで深さが約15 $\mu$ mの環状窪みをエッチングすることによって形成された。窪みは125 $\mu$ mだけ間隔を隔てられた。このような寸法で基板のパターン形成は容易に達成でき、接合は基板を劈開できるのに充分な機械的強度を有していた。約40 $\mu$ mであるより小さい窪みも実験された。10 $\mu$ m未満の寸法にまで縮小範囲を広げることも可能であり、微細なスケールの電流限定及び光線拡散能力が得られよう。パターン形成されたウェーハが接合された領域間に電流の導通を可能にし、同時に接合されない空洞での電流の流れを防止するように、後述する技術を利用してn-形又はp-形の何れかのユニポーラ接合用の、電気抵抗が低いGaP-GaP接合も達成された。

【0053】実際への適用

図15は一对のウェーハ80のウェーハ接合を達成するための公知の装置を示している。一对のウェーハは第1の黒鉛部材84と対面している。第1黒鉛部材内の溝付き領域82の面積は0.5インチ×0.8インチである。第2黒鉛部材86は第1黒鉛部材から突設した位置合わせピン90を受容する位置に穴88を備えている。互いに接合される一对のウェーハ80の厚さをランナーで変化させるために、黒鉛シム(図示せず)を溝付き領域82内に配設することができる。

【0054】第1と第2黒鉛部材84及び86を位置合わせピン90を利用して接合した後、アセンブリが密着嵌め石英管92内に挿入され、この石英管は次に開管形火熱炉に装入される。1.0リッター/分の流速のH<sub>2</sub>雰囲気中で温度が850-1000℃まで上昇される。温度周期は所望の温度へ傾斜させる周期であり、その後、5秒ないし1時間熱処理される。次に冷却周期が続く。

【0055】加熱中、一对のウェーハ80が圧縮される。圧縮力は石英管92の熱膨張係数(5.5×10<sup>-7</sup>/℃)と、第1と第2黒鉛部材84及び86の熱膨張係数(8.4×10<sup>-6</sup>/℃)との差によって生ずる。更に、ウェーハ80の熱膨張係数(例えばGaPの場合は5.8×10<sup>-6</sup>/℃)は相当であるので、圧縮力を更に促進する。上昇した温度で、III-V半導体ウェーハがやや塑性になる。その結果、ウェーハ表面は圧縮されると互いに順応してウェーハ表面のムラが補正されることに寄与する。

【0056】図15のウェーハ・ボンディング装置に装荷する前に、ウェーハ80は清浄にしてウェーハ表面から汚れや酸化物を除去しなければならない。有機汚染物は一般に脱脂技術によって除去される。材料がIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>P及びGaPである場合は、酸化物は代表的にはNH<sub>4</sub>OHでエッチングされることによって除去される。エッチングの後、ウェーハから残余のNH<sub>4</sub>OHを除去するためにウェーハは直ちにメタノール中に置かれる。接合される表面はサンプルがメタノール中にある間、接触状態にされている。

【0057】次に接触しているウェーハ80からメタノールが除去される。メタノールは速やかに蒸発し、ウェーハ80はファンデルワース力によって結合状態に留められる。しかし、ファン・デル・ワースによる接合には一般に充分な機械的強度がなく、一般に前述のようなLED装置の製造で使用されるのに充分な導電性が得られない。従って、更に別の固体接合が必要である。そこで図15のウェーハ・ボンディング装置が使用される。

【0058】下記の実験の場合、ウェーハはGaP:S(n=5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)の基板〔(100)+(110)の方向に2°、又は(100)+(110)の方向に10°〕と、(GaAs上で成長せしめた厚さ2ミルの気相エピタキシGaPから作成された)GaP:Zn

( $p=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 「疑似基板」から成っている。 $\text{GaAs}:\text{Te}$  ( $n=5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) 上で金属有機化学蒸着 (MOCVD) によって成長させた  $1 \mu\text{m}$  の  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}:\text{Te}$  ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )、及び MOCVD によって  $\text{GaAs}$  上で成長させた  $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{x-1})_{0.5}\text{P}$  二重異型構造の LED とから成る層も用いられた。 $\text{GaAs}$  基板は (110) の方向に (100) +  $2^\circ$  の配向であった。固体ウェーハ・ボンディングの後、露出表面の熱損傷は一般に  $\text{HCL}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$  (1:1:1) 中でのエッチングによって除去される。次にウェーハは  $n$ -形接点用に  $\text{AuGe}$  で金属化され、及び/又は  $p$ -形接点用に  $\text{AuZn}$  で金属化され、合金され、チップへと切断される。

【0059】二つのウェーハ・ボンディング層のウェーハ 80 の境界面で所望の電気抵抗特性を達成するように上記の工程を実行する上で考慮すべき重要な点は、接触前のウェーハの表面の処理であることが判明した。前述したように、好適な工程にはウェーハを  $\text{NH}_4\text{OH}$  でエッチングして表面処理し、その後、ウェーハ 80 がメタノール溶液中浸漬中に表面を互いに接触して接合する工程が含まれる。これらの二つの工程に含まれる処理の後に接合されるウェーハが、 $\text{HF}:\text{脱イオン水}$  (1:10) でエッチングし、次に脱イオン水で濯ぎ、 $\text{N}_2$  で乾燥させた別の処理工程の後に接合されたウェーハと比較された。双方の場合とも、接合されたウェーハは  $n$ -形  $\text{GaP}$  基板と、( $\text{GaAs}:\text{Te}$  上の)  $n$ -形  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  から成るものであった。別の表面処理工程の後に、ウェーハは図 15 のウェーハ・ボンディング装置内に装荷された。ウェーハは同様に  $1000^\circ\text{C}$  で 1 時間熱処理された。 $\text{NH}_4\text{OH}$ -メタノールで処理されたウェーハの場合、電流-電圧特性によって明確に、比較的低抵抗の抵抗接合が示された。 $\text{HF}:\text{脱イオン水}$  でのエッチングにより処理されたウェーハは、接合されたウェーハの境界面で「障壁」が形成されたかのように非抵抗特性を呈した。このような非抵抗特性は一般に一つのウェーハ接合された基板から別のウェーハ接合された基板へと電流が導通されるべき用途には許容されない。

【0060】 $\text{NH}_4\text{OH}$ -メタノールによる表面処理は  $n$ -形  $\text{InGaP}$  を  $n$ -形  $\text{GaP}$  に接合する場合、現在のところ所望の電気的抵抗特性を達成する好適な処理であるものと考えられる。 $\text{NH}_4\text{OH}$  でエッチングし、メタノールで濯ぎ、接触前に  $\text{N}_2$  で乾燥させるような別の表面処理では非抵抗特性が生じる。しかし、( $n$ -形  $\text{GaAs}:\text{Te}$  上の)  $n$ -形  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  を ( $\text{GaAs}:\text{Te}$  上の)  $n$ -形  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  と接合するために同じ処理を行った場合、所望の抵抗結合特性が生じた。この差異はこの表面処理が  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  には充分であるが、 $\text{GaP}$  から酸化物を全て除去することはできないことによるであろう。この差異の原因として考えられる別の説明としては、 $\text{In}$  含有成分の場合には

接合特性が向上したことが挙げられる。

【0061】(a)  $n$ -形の  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  に接合された  $n$ -形の  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  からなく固相接合されたウェーハと、(b)  $n$ -形の  $\text{GaP}$  に接合された  $n$ -形の  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  から成る固体接合されたウェーハとの比較がなされた。双方の組のウェーハとも所望の電気的抵抗特性を有するウェーハ結合が得られた。しかし、(a) ユニポーラの  $n$ -形の  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  の接合は、(b) ユニポーラの単極の  $n$ -形の  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}/\text{GaP}$  接合と比較して境界面で著しく低い抵抗を呈した。(a) の場合は抵抗は約 1.5 オームであり、一方、(b) の場合は抵抗は約 5 オームであった。(20×20 ミルのダイス) あるいは、抵抗がより低い  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  の接合は、 $1000^\circ\text{C}$  で達成される  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}/\text{GaP}$  の接合と比較して、約  $975^\circ\text{C}$  のより低温でウェーハ領域全体に亘って形成可能である。

【0062】実験の結果は、LED の製造で使用される固体ウェーハ・ボンディングには  $\text{In}$  含有成分が望ましいことを示している。その理由として可能な一つの説明としては、半導体ウェーハの接合工程の間、材料がせん断応力、蒸発-凝結、及び物質移動によって材料が遷移可能であることが挙げられる。 $\text{In}$  含有成分に認められる接合の増強は、 $\text{Ga}$  原子と比較して  $\text{In}$  原子の表面移動度が高く、又は、 $\text{GaP}$  と比較して  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  の物質移動特性が優れている結果として望ましいものである。更に、 $\text{AlGaAs}-\text{GaAs}-\text{InGaAs}$  構造では拡散度が比較的高いことが知られている。同様に、 $\text{In}$  は固相ウェーハ・ボンディング工程中に拡散、又は  $\text{GaP}$  と合金して、接合された境界面の周辺で  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_{x-1}\text{P}$  ( $x < 0.5$ ) 合金を形成することができる。

【0063】 $\text{In}$  含有成分に加えて、同様の特性、すなわち原子の表面移動度が高いこと、及び/又は物質移動特性の向上という特性を有する別の  $\text{III-V}$ 、又は  $\text{II-VI}$  成分も固体ウェーハ・ボンディング用に有利に利用できる。従って、 $\text{Hg}$  含有、 $\text{Cd}$  含有、及び  $\text{Zn}$  含有成分はこのような用途での主要な候補である。

【0064】所望の電気的抵抗特性を備えた固体ウェーハ接合を形成する別の重要なパラメータは、図 15 の装置内でウェーハ 80 を熱処理する場合の温度分布である。図 16 は二つの異なる温度分布を示している。上部の温度分布では、 $1000^\circ\text{C}$  までの「迅速な」傾斜 (ramp) が示され、一方、下部の温度分布は  $1000^\circ\text{C}$  までの「緩速の」傾斜が示されている。何れの場合も、 $1000^\circ\text{C}$  まで傾斜した後 1 時間の熱処理が行われる。同様の冷却用温度分布が示されている。

【0065】下部の「緩速の」傾斜によって一般により低い温度で、又、実質的により大きい面積に亘る抵抗結合が生ずる。この現象は高温遷界の一部の期間中、圧縮

されない接合表面により生ずるものである。それによってウェーハ・ボンディングに先立ち、ある程度の表面分解、又は熱による酸化物離脱が可能になろう。更に、このような差異は「緩速の」傾斜による有効な熱処理が長いことに起因するものであろう。しかし、この作用はn-形とn-形のウェーハの接合のみに認められるものである。このような依存性はp-形とp-形のウェーハの接合では認められなかった。

【0066】n-形のウェーハよりもp-形のウェーハ相互間の抵抗接合の方が容易であることはある程度明らかである。p-GaPとp-GaPの、又、n-GaPとn-GaPのウェーハ・ボンディングが実行された。双方の場合とも、接合は1時間に亘って1000℃で行われた。n-形とp-形の双方の接合ともサンプルの全領域に亘る抵抗接合が生じた。しかし、接合抵抗は12×12ミルのチップの場合、GaP/GaP n-形ユニポーラ・ウェーハ接合の場合(約5オーム)よりも、GaP/GaP p-形ユニポーラ・ウェーハ接合の場合(0.9オーム未満)の方が大幅に低かった。n-形ドーパントと比較してp-形ドーパントの拡散率が10

【0067】吸収性GaAs構造を除去し、透光性GaP基板をIn<sub>0.5</sub>(Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)<sub>0.5</sub>P LEDに固体ウェーハ接合することによって、元の吸収性GaAs成長基板を残したままの同じLED基板と比較して約2倍という光線出力の顕著な向上が達成された。

【0068】図15のウェーハ・ボンディング装置は所望の結果を達成するものの、この装置では残念ながら温度に関わりなく圧縮力を加えることができない。すなわち、この装置は材料の熱膨張の結果として圧縮力を生ずるので、圧力と温度を別個に制御することができない。その結果、図17及び図18の反応炉が開発された。図17は反応炉94の上面図を示している。反応炉は一对のウェーハを圧縮するための二つの黒鉛部材96及び98を備えている。一つの黒鉛部材96の位置合わせピン100が別の黒鉛部材98のノッチ内に受容されている。

【0069】黒鉛部材96及び98は火熱炉管102内に配置されている。後方の黒鉛部材96は黒鉛部材の弧状開口部108内に軸106を受容することによって加熱炉管102に対して固定位置にある。前方の黒鉛部材98は加熱炉管102内に移動可能である。黒鉛部材98の開口部112内に受容された軸104に空気圧ピストンが取り付けられている。空気圧ピストンは黒鉛部材に、ひいては110の位置にある一对のウェーハに可変圧を加えるために空気圧制御されている。

【0070】図18を参照すると、一对のウェーハ112及び114は最初は分離されている状態が示されている。これと対照的に、図19は二つのウェーハ120が

最初から接触している第1と第2黒鉛部材116及び118を示している。図19の実施例が試験され、予備データは固体ウェーハ・ボンディングを境界面全体に亘って実施できることを示している。温度の関数としての印加圧力の分布はウェーハ120の亀裂と破損を最小限にする上で重要である。亀裂の発生はウェーハが柔軟ではない温度で高圧を加えることに起因することがある。

【0071】ウェーハ112及び114を最初に分離できる図18の実施例は、ウェーハを接合する前にウェーハ表面から酸化物を熱離脱できるので好適であろう。あるいは、接合されるべき表面をある程度分解することが望ましいこともある。図18の実施例はこのような接合条件を促進するものである。

【0072】別の可能性として、ウェーハ表面から参加物を別個に離脱し、且つ表面をAsキャップ又はPキャップで覆ってそれ以上酸化することを防止することがある。キャップを装着されたウェーハはその後、黒鉛部材の間に配置されよう。キャップはウェーハの表面自体を有効に分離するので、キャップを装着されたウェーハが物理的に接触しているか否かは重要ではない。次にキャップを装着されたウェーハは500℃を超える温度に加熱されて、ウェーハのキャップが除去され、接合用に酸化物を含まない表面が残される。次にウェーハは押圧されて接触され、固体ウェーハ・ボンディング用に温度が上昇される。

【0073】更に、接合中にドーパントのガスを図17の火熱炉102を通して流通させ、接合される境界面でのキャリア濃度を高めることができる。適切なドーパント・ガスにはH<sub>2</sub>Se、H<sub>2</sub>S、DETe及びDMZnが含まれよう。これはp-形接合よりも困難であるとみられるn-形結合にとって特に重要である。

【0074】図17の反応炉94によって図18の装置で必要であるよりも低い温度で抵抗固体ウェーハ・ボンディングの形成が可能である。温度が低いことによってエピタキシャルLED層の層同士の混合が最小限に抑止されよう。より重要である点は、温度が低いことによって装置の層内でのp-n接合部の移動が最小限に抑止されることである。

【0075】LEDの用例のためのウェーハ・ボンディングの更に別の用途には、ウェーハの機械的、熱力学的安定性を向上するために安定性に欠ける半導体層に頑強な半導体ウェーハを接合することがある。一つの特定の用例は、機械応力及び熱応力の双方に関してIII-V、又はIV-IV半導体よりも一般に安定性に欠けるとみられるII-IV LED構造用の用例である。その結果、LED装置の機械的及び熱力学的安定性の双方又は一方を向上するためにII-V層に頑強なIII-V半導体又はSiC基板を固体ウェーハ結合することが望ましい。

【0076】以上のように、本発明の各実施例について

詳述したがここで、ここで本発明の理解を容易にするために、本発明の各実施例の実施態様について要約して以下に列挙する。

1. 所望の機械特性を有する発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)の製造と適応性がある特性を有する第1材料を選択し;選択された第1材料から成る第1基板(30)を設け;第1基板上に発光ダイオード層を製造することによって発光ダイオード基板(40)を形成し;発光ダイオード構造の性能の向上に適する透光性材料を選択し;および選択された透光性材料の透明層(42)を発光ダイオード層にウェーハ・ボンディングする;工程とからなる発光ダイオードの製造方法である。

【0077】2. 発光ダイオード層を製造する工程は、複数の発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)を第1基板(30)上でエピタキシャル成長させる工程であり、第1材料には複数の層のエピタキシャル成長と適応性がある格子を得るような材料を選択する前記1に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0078】3. 第1の基板(30)を除去する工程をさらに含む前記1または前記2に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0079】4. 第1の基板(30)を除去する工程は、透明層(42)のウェーハ・ボンディングに先立って行われる工程であり、このウェーハ・ボンディングは第1基板がそこから除去される発光ダイオード構造(40)の側面に透光性基板をウェーハ・ボンディングする工程である前記3に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0080】5. 透明層(42)を発光ダイオード構造(40)にウェーハ・ボンディングする工程は、ウェーハ・ボンディングされる層(32及び42)を軟化させるために温度を上昇させることを含め、抵抗が低い電気的接続を得るために上昇された温度で実行される工程である前記1に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0081】6. ウェーハ・ボンディングする工程は、ウェーハ・ボンディングされる層の整合性を達成するために層(32及び42)に圧力を加えることを含む工程である前記5に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0082】7. 発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)を製造する工程と透光性材料を選択する工程の少なくとも一方が、ウェーハ・ボンディングされる層(32と42)の境界面においてIn含有成分、Cd含有成分、及びZn含有成分の一つを選択する工程である前記1に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0083】8. 発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)をエピタキシャル成長と適応性がある格子を一時的成長基板(30)を設け;一時的成長基板(3

0)上で発光ダイオード層の積層をエピタキシャル成長させ、積層は第1側面(38)を有しかつ一時的成長基板(30)に結合された第2側面(32)を有し、それによって一時的成長基板(30)が一時的支持表面を形成し;及び一時的支持表面を成長基板より高い導電性と透光性の少なくとも一方を有する永久基板(42及び48)と置き換え、置き換えるのは永久基板を発光ダイオード層の第1と第2側面的一方にウェーハ・ボンディングすることを含み、ウェーハ・ボンディングするのは永久基板と発光ダイオード層との境界面で温度を上昇させて、双方の間に低抵抗接続を達成する;工程とからなる発光ダイオードの製造方法である。

【0084】9. 一時的支持表面の置き換え工程は、発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)の第1側面(38)に永久基板(48)をウェーハ・ボンディングした後に成長基板(30)を除去する工程を含む前記8に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0085】10. 一時的支持表面の置き換え工程は、発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)の第1側面(38)に永久基板(48)をウェーハ・ボンディングする前に成長基板(30)を除去する工程を含む前記8に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0086】11. 発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)上に第2導電性、透光性基板(48)をウェーハ・ボンディングし、永久基板が、導電性、透光性であり、それによって発光ダイオード層を透光性基板(42及び48)の間に挟装する工程をさらに含む前記8、前記9または前記10に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0087】12. ウェーハ接合の境界面でのキャリアの濃度を高めるために永久基板(42及び48)のウェーハ・ボンディング中にドーピング・ガスを流入する工程をさらに含む前記8に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0088】13. 一時的成長基板(30)を永久基板(42及び48)に置き換える工程の前に酸化を防止するために永久基板(42)と発光ダイオード層(32, 34, 36及び38)の少なくとも一方にキャップ材料を装着する工程をさらに含み、さらに発光ダイオード層に永久基板をウェーハ・ボンディングするために永久基板と発光ダイオード層の少なくとも一方からキャップ材料を外すために熱を加える工程を含む前記8に記載の発光ダイオードの製造方法である。

【0089】14. 第1発光ダイオード構造(40)を形成するために第1発光ダイオード層(34, 36及び38)をエピタキシャルに成長させ、;第2発光ダイオード構造(64)を形成するために第2発光ダイオード層(66, 68及び70)をエピタキシャルに成長させ;第1発光ダイオード構造を第2発光ダイオード構造上に積層し;及び第1発光ダイオード構造を第2発光ダ



け；及びⅢⅢⅢ-Ⅴ半導体基板とSiC基板(48)の一つをⅢⅢⅢ-Ⅴ半導体構造にウェーハ・ボンディングすることによってⅢⅢⅢ-Ⅴ半導体構造の安定性を向上する；工程とからなる発光ダイオードの製造方法である。

**【0 1 0 0】**

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、所望の機械的特性を有するLED層の製造に適応を有する材料で第1基板を形成し、この第1基板上にLED層を形成してLED構造を形成し、LED層に透光性材料による透明層をウェーハ・ボンディングするようにしたので、第1基板にエピタキシャル成長を要することなく、所望の機械的特性と透光性を有するLEDを短時間に大量に製造することができるとともに、透明層と成長層との境界面の抵抗率を最小限にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による一時的成長基板を有する二重異質接合LED装置の側面図である。

【図 2】図 1 の一時的成長基板を除去した LED 構造の側面図である。

【図3】ウェーハ・ボンディング技術を利用して取り付け  
た永久基板を有する図2のLED構造の側面図であ  
る。

【図 4】対向側に電極を有する図 3 の構造の側面図である。

【図5】ウェーハ・ボンディングによって製造された別のLED構造の側面図である。

【図6】図1の装置にウェーハ接合基板を取り付けた第3の実施例の側面図である。

【図7】図2のLED構造にウェーハ接合基板を取り付けた別の実施例の側面図である。

【図8】ウェーハ・ボンディング技術によってミラーに取り付けた図2のLED構造の側面図である。

【図9】積層されたLED装置の側面図である。

【図10】ウェーハ接合されたパターン形成層を用いるLED装置の側面図である。

【図 11】ウェーハ接合されたパターン形成層を用いる LED 装置の側面図である。

【図12】ウェーハ接合されたパターン形成層を用いるLED装置の側面図である。

【図13】ウェーハ接合されたパターン形成層を用いるLED装置の側面図である。

【図14】ウェーハ接合されたパターン形成層を用いるLED装置の側面図である。

【図15】本発明の工程を実行するためのウェーハ・ボンディング装置の分解図である。

【図16】図15のウェーハ・ボンディング装置を動作する際の温度分布グラフである。

【図 17】本発明の工程を実行するための別の装置の概略図である。

【図18】図17の装置とともに使用するための黒鉛部材の実施例を示す分解斜視図である。

【図19】図17の装置とともに使用するための黒鉛部材の別の実施例を示す分解斜視図である。

【図20】従来の吸収性基板を有する単一異質接合LED装置の側面図である。

【図21】従来の吸収性基板を有する二重異質接合LED装置の側面図である。

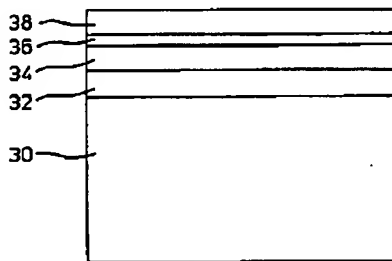
【図22】従来の透光性基板を有する二重異質接合LED装置の側面図である。

【符号の説明】

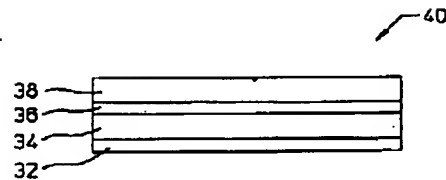
30 成長基板  
32, 34, 36, 38, 156A, 174, 178 発光ダイオード層  
40, 64, 128, 144A 発光ダイオード構造  
42, 78 導電性、透光性基板  
44, 142, 144, 154, 156 電極  
46 第2の電極  
48, 182 第2基板  
50, 152 ウェーハ・ボンディング層  
56, 58 接点金属化領域

60 ミラー  
62, 136, 146, 180 基板  
68, 132 能動層  
72 トンネル接合層  
74 上部電極  
76 下部電極  
80, 110, 112, 114, 120 ウェーハ  
84, 116 第1黒鉛部材  
86, 118 第2黒鉛部材  
10 92 石英管  
94 反応炉  
96, 98 黒鉛部材  
102 加熱炉管  
126 半導体ウェーハ  
134 下部の密封層  
138 下部表面  
140, 148, 150 窪み  
158 上層  
160 下層  
20 162, 164 外部層  
166, 168, 170, 172 電極

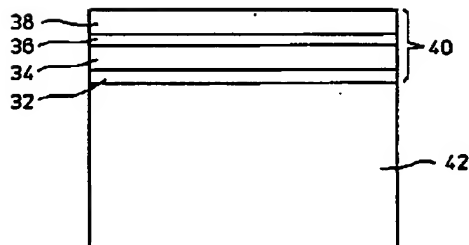
【図1】



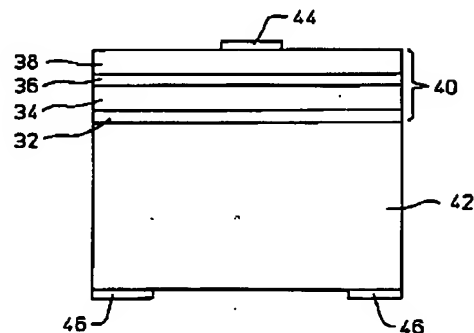
【図2】



【図3】

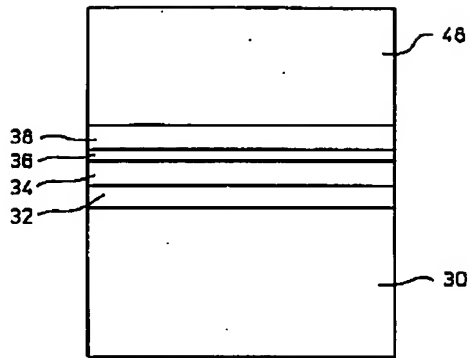


【図4】

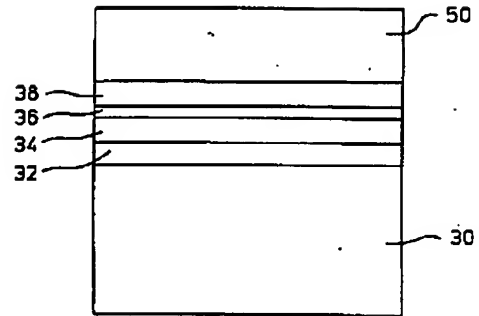




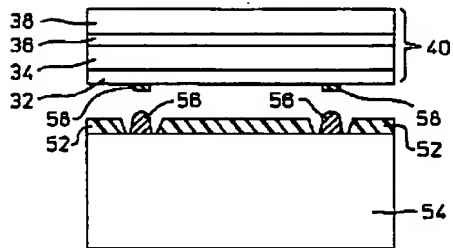
【図5】



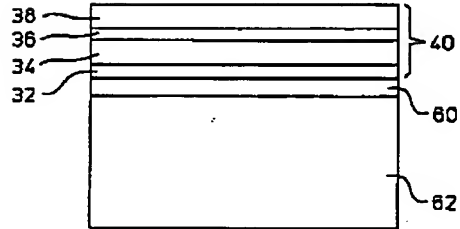
【図6】



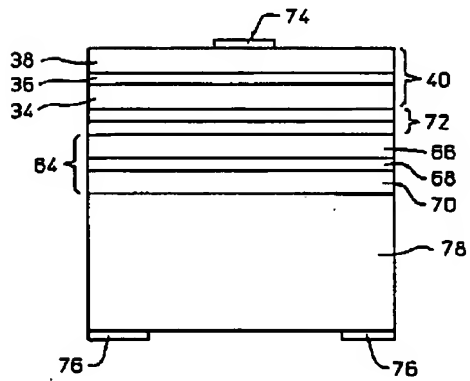
【図7】



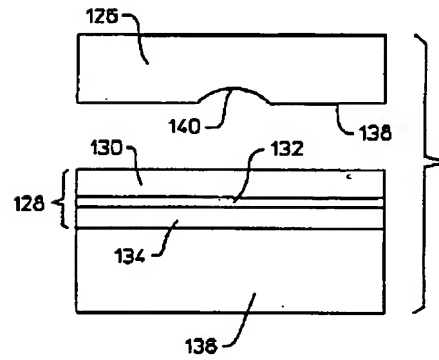
【図8】



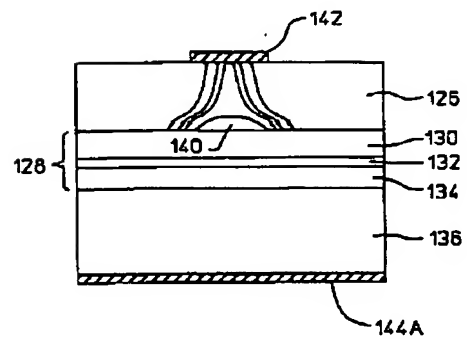
【図9】



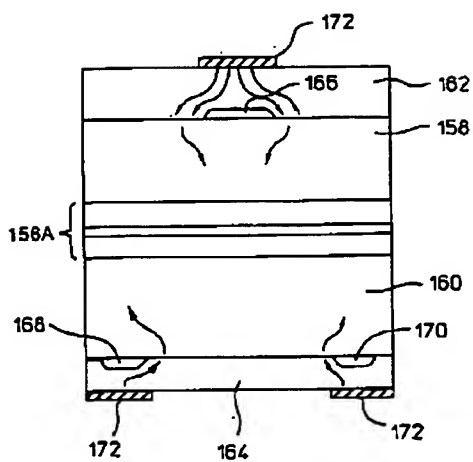
【図10】



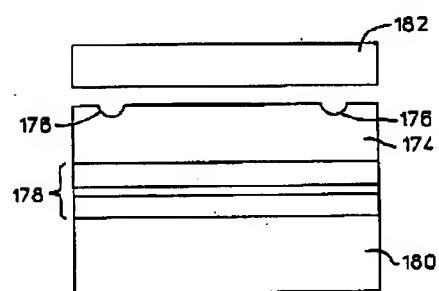
【図11】



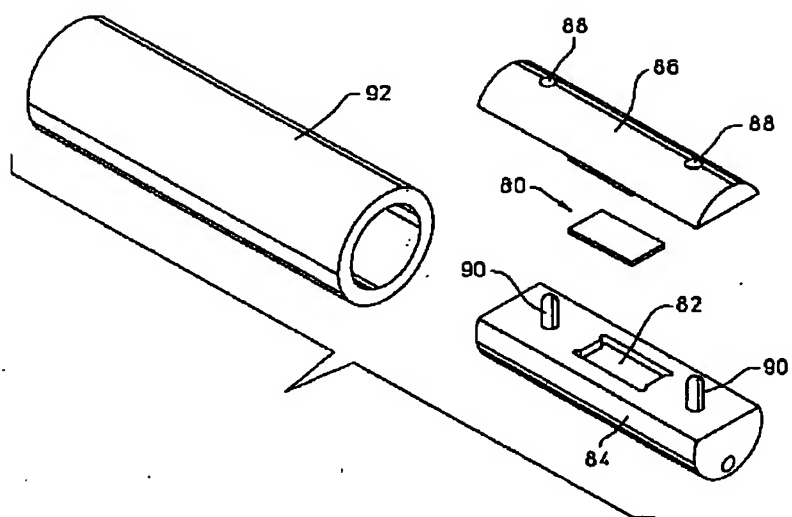
【图 13】



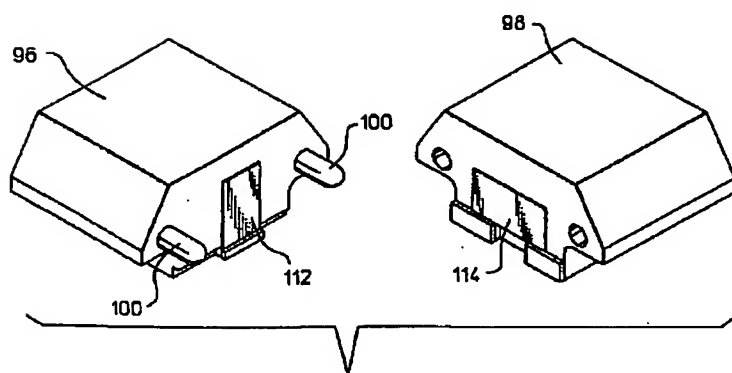
【图 14】



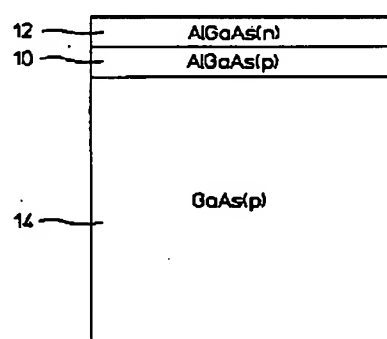
【例 15】



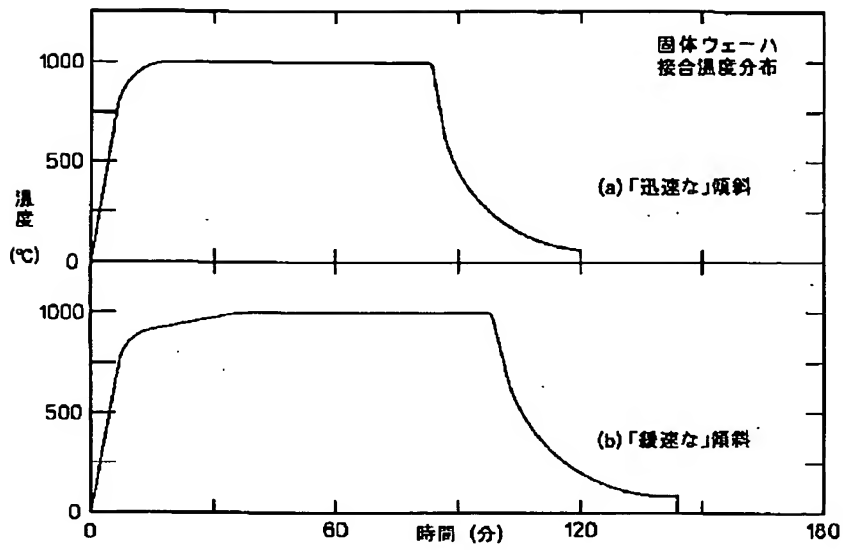
【図 18】



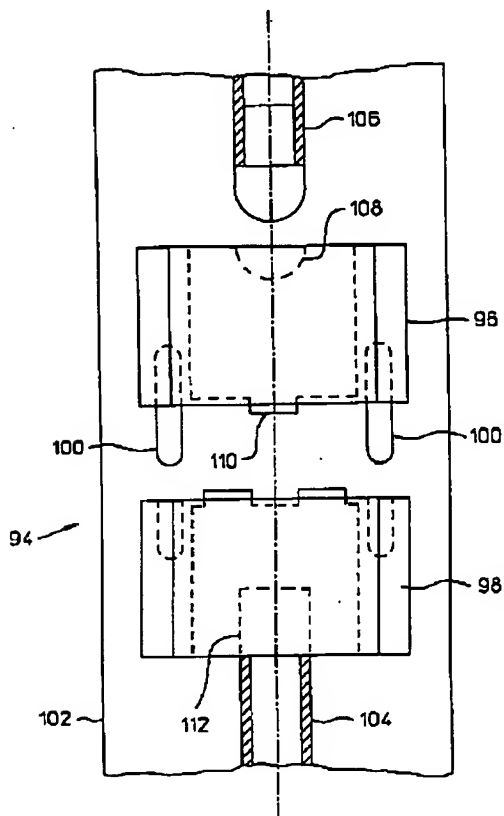
【图 20】



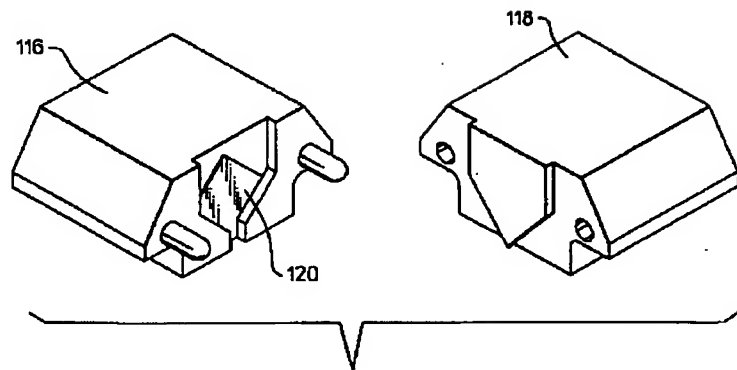
【図16】



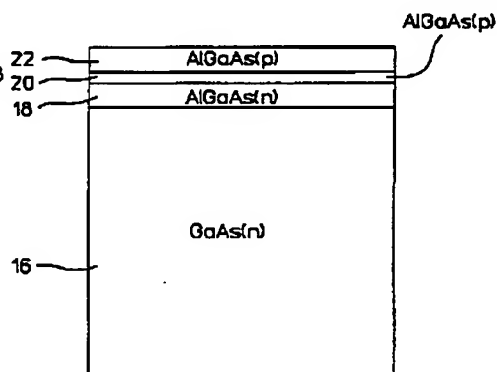
【図17】



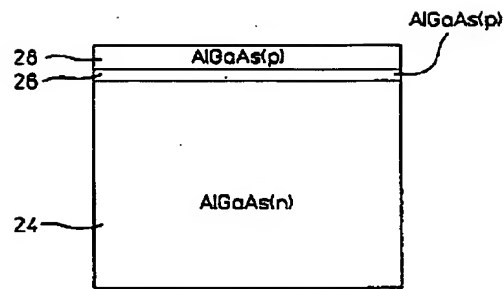
【図19】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(72)発明者 デニス・シー・デフェヴレ  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト マダックス・ドライブ 1043

(72)発明者 ヴァージニア・エム・ロビンス  
アメリカ合衆国カリフォルニア州ロスガト  
ス グリーンウッド・ドライブ 17963

(72)発明者 ジョン・ウエビング  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト トウル・ウェイ 665